

НОВЫЙ ПОДХОД К МЕТОДУ ОБРАБОТКИ СЕСИММЕТРИЧНОЙ ЗАГОТОВКИ ВО ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ВОЛОКЕ

Показана возможность существенного повышения температуры при применении метода волочения с вращением волокна. Этот эффект предложено использовать для совмещения операции волочения с термической обработкой.

Ключевые слова: волочение, вращение волокна, напряжения, тепло-выделение.

Possibility of a substantial increase in temperature during application of the method of drawing with the rotation of the die is shown. This effect is proposed to use for combining drawing operation with heat treatment.

Key words: drawing, rotating dies, stress, heat dissipation.

Волочение часто ассоциируют со способом холодной обработки металла, предназначенного для калибровки размеров заготовки и сообщения необходимого уровня нагартовки. Вместе с тем в промышленности существует необходимость осуществления процесса в горячем состоянии. Часть металлов и сплавов обладает необходимым уровнем пластичности только в горячем или теплом состоянии. Это касается иридия, бериллия, молибдена, вольфрама. Для них вынужденно прибегают к операции нагрева заготовки, после чего производится собственно процесс волочения. Такие процессы защищены, например, охранными документами [1, 2]. Подвод тепла к заготовкам здесь осуществляется с помощью расплава металла, расположенного перед входом в волоку. В периоды остановки волочильного стана уровень расплавов понижают, чтобы произвести заправку его проволокой.

Применение расплавов для теплопередачи не всегда удобно из-за смачивания и загрязнения поверхности протягиваемого изделия, поэтому в более позднем техническом решении нагрев от теплоносителя заменен на нагрев от тепла работы трения в калибрующем пояске волокна [3].

Суть предложения заключалась в сообщении волоку вращающего момента при обеспечении скорости вращения, достаточной для разогрева металла. В похожем по кинематике процессе прессования с закручиванием матрицы достигается эффект снижения энергосиловых параметров [4, 5], а эффект тепловыделения при волочении рассмотрен в статье [6].

На рис. 1 представлено решение задачи волочения с вращением волокна при применении метода конечных элементов в системе расчета ABAQUS.

Применена версия программного продукта с количеством конечных элементов до 1000. Деформируемый материал – медь марки М1 со стандартными упругими свойствами, а пластические свойства описаны кривой упрочнения следующего вида $s_s = 80 + 283e^{0,118}$, где e – степень деформации (логарифмическая) [7]. Проволока диаметром 8,00 мм (радиус $R = 4$ мм) протягивается через волоку диаметром 6,53 мм с коэффициентом вытяжки $l = 1,50$, относительным обжатием 33 % и степенью деформации $e = \ln l = 0,405$. Длина калибрующего пояска установлена на уровне 25 % от диаметра волокна, угол наклона образующей волокна равен 10° . Граничные условия описаны следующим образом:

- задано линейное перемещение переднего конца проволоки U2 (в декартовой системе координат это перемещение u_z);
- задано закрепление волокна по линейным и угловым координатам.
- на контактной поверхности действует закон трения Кулона, коэффициент трения равен 0,1.

Моделируемое пространство – осесимметричное (axisymmetric), включая вращение (include twist). Проволока и волока представляют собой деформируемые тела, поэтому оба объекта имеют разбиение на конечные элементы, как это показано на рис. 1, а. Здесь осевое перемещение равно 15 мм, правая и левая крайние части заготовки являются недеформированными зонами. Стрелки с торца передней (правой) части означают вектора линейных перемещений, составляющие часть граничных условий. По нижней образующей волокна треугольниками показан способ закрепления (например, в обойме или волокодержателе). Верхняя часть рисунка получена отражением нижней части, поэтому граничные условия графически не дублируются.

Видно, что напряжения s_{rj} (возникшие от вращения волокна) достигают значительных величин, они равны примерно 10 % от сопротивления деформации металла. Дополнительно возникают напряжения s_{rz} , которые составляют до 80 % от сопротивления деформации.

При этом зоны действия наибольших напряжений смещены относительно контактных поверхностей и расположены ближе к калибрующему пояску волокна. Таким образом, выявлено, что главным источником повышенного тепловыделения может являться именно калибрующий поясок волокна.

Обосновать возможность перевода металла в горячее состояние помогают следующие расчеты. Заготовкой является проволока из меди $D = 5$ мм. Теплоемкость меди $c = 386$ Дж/(кг·град). Для перевода металла в горячее состояние достаточно температуры $t = 700$ °С. Обжатие во враща-

ющейся волоке назовем близким к нулю при длине калибрующего пояска 1 мм (20 % от диаметра заготовки).

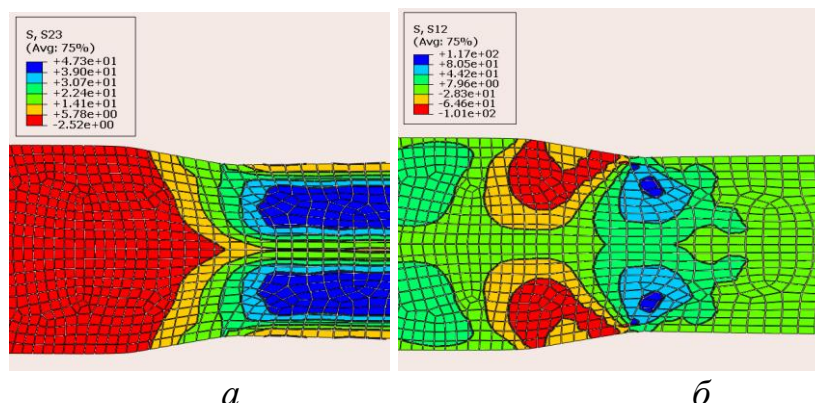


Рис. 1. Волочение с вращением волоки, цветные области равного уровня: S23 – напряжения $s_{zj}(a)$, S12 – напряжения $s_{rz}(б)$

Заготовкой является проволока из меди диаметром 5 мм. Теплоемкость меди $c = 386$ Дж/(кг·град). Для перевода металла в горячее состояние достаточно температуры $t = 700$ °С. Обжатие во вращающейся волоке назовем близким к нулю при длине калибрующего пояска 1 мм (20 % от диаметра заготовки).

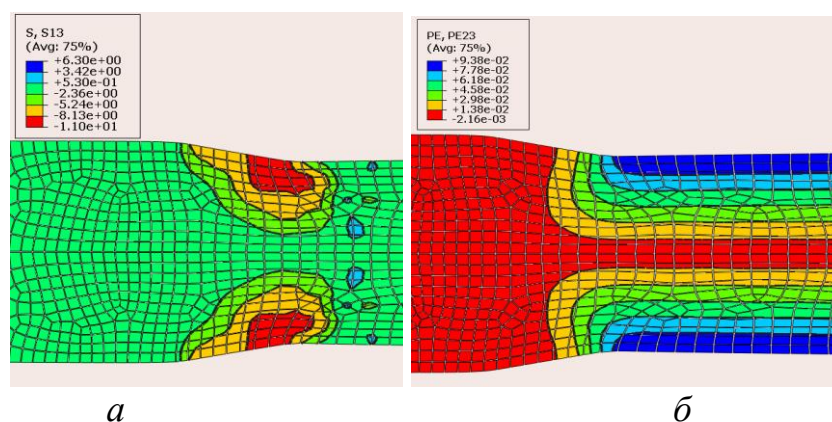


Рис. 2. Волочение с вращением волоки, цветные области равного уровня: S13 – напряжения $s_{rj}(a)$ в МПа, PE23 – деформации $e_{zj}(б)$

Объем проволоки на длине калибрующего пояска 1 мм $D = 5$ мм составляет $19,6 \text{ мм}^3$. При плотности меди $8,9 \text{ г/см}^3$ масса этого металла составляет $0,175 \text{ г}$. Для нагрева этой массы до заданной температуры необходимо затратить $Q = m \cdot c \cdot t = 47 \text{ Дж}$. Боковая поверхность рассмотренного цилиндра составляет $S = 15,7 \text{ мм}^2$.

Удобнее принять, что трение на контактной поверхности подчиняется закону Зибеля. Примем сопротивление деформации меди $\sigma_s = 173 \text{ МПа}$, сопротивление деформации на сдвиг $\tau_s = \sigma_s / \sqrt{3} = 100 \text{ МПа}$.

При коэффициенте трения по Зибелю $\psi = 0,1$ напряжения трения составят величину $\tau = \psi \tau_s = 10$ МПа. Работа напряжений трения величиной $\tau = 10$ МПа на боковой поверхности цилиндра при 20 оборотах волокна на пути длиной $n \cdot \pi \cdot D$ составляет $A = \tau \cdot S \cdot n \cdot \pi \cdot D = 49,35$ Дж, что даже несколько превышает энергию, необходимую для нагрева заготовки до заданной температуры. Таким образом, для прогрева до заданной температуры части заготовки длиной 1 мм необходимо совершить 20 оборотов волокна. Если назначить скорость вращения волокна 2000 об/мин, то скорость поступательного перемещения заготовки составит 100 мм/мин.

Это соотношение скоростей позволит осуществить процесс волочения в горячем состоянии либо осуществить процесс отжига.

Для сравнения рассчитаем тепловыделение при деформации такой проволоки волочением без использования приема вращения волокна. Медь может быть нагнута холодной деформацией до уровня сопротивления деформации около $\sigma_s = 300$ МПа. Обычно обжатия при волочении назначают из расчета достижения напряжений волочения на уровне 30 % от σ_s . Тогда напряжение волочения составит $\sigma_{вол} = 100$ МПа. Работа деформации при таком напряжении на пути 1 мм при $D = 5$ мм составит $A = \sigma_{вол} \cdot L \cdot \pi \cdot D^2 / 4 = 1,96$ Дж. Если вся работа деформации превратится в тепловую энергию, то повышение температуры составит $t = A / (c \cdot m) = 29^\circ$.

Таким образом, здесь показано, что только работы деформации недостаточно для перевода металла в горячее состояние. Для существенного повышения температуры следует применять вращение волокна. Если целью процесса является получение на одном из его этапов отожженной заготовки, то заданная температура должна быть выше температуры рекристаллизации протягиваемого материала.

Большое количество сплавов цветных металлов разупрочняются в результате закалки. Поэтому вместо режима нагрева до температуры отжига в способе может быть использован режим нагрева до температуры закалки. Заданная температура может соответствовать температуре старения протягиваемого материала. В результате достигается упрочнение материала.

После нагрева под закалку материал может быть подвергнут резкому охлаждению подачей хладагента или протягиванием через охлаждаемую волоку. Эффект закалки может быть использован для разупрочнения металла или впоследствии использован для проведения операции старения.

Список литературы

1. Новожинов В. И., Ляшков В. Б., Колмогоров В. Л., Залазинский А. Г., Логинов Ю. Н., Королев В. Ю. Устройство для теплого волочения проволоки из малопластичного материала. А.с. СССР № 591244, заявка № 2410175. МПК В21С3/14. Опубл. 05.02.1978. Бюл. № 5.

2. Новожонов В. И., Ляшков В. Б., Колмогоров В. Л., Залазинский А. Г., Логинов Ю. Н. Устройство для теплого волочения проволоки. А.с. СССР № 710714, заявка № 2605628 от 19.04.1978. МПК В21С1/02. Оpubл. 25.01.1980. Бюл. № 3.
3. Логинов Ю. Н., Буркин С. П. Способ волочения заготовок круглого поперечного сечения. Патент РФ № 2252091, заявка № 2004107760 от 15.03.2004. В21С1/00. Оpubл. 20.05.2005. Оpubл. 20.05.2005. Бюл. № 14.
4. Логинов Ю. Н. Исследование процесса прессования через вращающуюся матрицу / Ю. Н. Логинов, С. П. Буркин // Известия вузов. Черная металлургия. 1995. № 4. С. 33–36.
5. Логинов Ю. Н., Буркин С. П., Кориунов Е. А. Способ прессования заготовок. Патент РФ № 2049569, заявка № 93013088. МПК В21С 23/02. Оpubл. 10.12.1995. БИ № 34.
6. Логинов Ю. Н. О гипотезе разрушения внутренней поверхности капиллярных медных трубок при волочении / Ю. Н. Логинов, М. С. Шалаева, А. С. Овчинников // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2011. № 12. С. 3–9.
7. Логинов Ю. Н. Медь и деформируемые медные сплавы : учеб. пособие / Ю. Н. Логинов. 2-е изд. Екатеринбург: УГТУ, 2006. 136 с.